

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 46 (1955)
Heft: 22

Artikel: Gummi als Elektrizitätsleiter in der Technik : Eigenschaften, allgemeine und besondere Anwendungen
Autor: Meij, S. de
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060959>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

III > 1000...1500						IV > 1500...2000						V > 2000...2500						VI > 2500...3000					VII > 3000				
A	D	E	F	G	Total	A	B	D	E	F	H	Total	A	C	E	H	J	K	Total	E	F	H	J	Total	A	C	Total
6	5	2	1	1	15	4	1	5	6	1	1	18	2	1	4	2	4	1	14	1	5	1	1	8	1	1	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	5	2	1	1	15	4	1	5	6	1	1	18	2	1	4	2	4	1	14	1	5	1	1	8	1	1	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	29	6	7	4	69	20	4	34	24	3	3	88	19	5	36	16	21	8	105	12	37	6	5	60	15	2	17
23	29	6	7	4	69	20	4	34	24	3	3	88	19	5	36	16	21	8	105	12	37	6	5	60	15	2	17

leistung und Eigenfrequenz. Bericht über eine für das CIGRE-Schalterkomitee durchgeführte Umfrage bei schweizerischen Elektrizitätswerken. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 13, S. 526...530 und 543.

[2] Zaduk, H. Die Beanspruchung der Höchstspannungsschalter in deutschen Netzen für 50...65 kV bezüglich Abschaltleistung und Einschwingfrequenz der wiederkehrenden Spannung. Berlin und Ruit über Esslingen: Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen e. V. 1955: Archiv für

Kraftwerks- und Netzbetrieb, Gruppe 0 434-1. (5 S. Text, 4 S. Tab. u. Fig.; vervielfältigt.)

Adresse der Autoren:

H. Schiller, Oberingenieur der Motor-Columbus A.-G., Baden (AG),
 Dr. sc. math. P. Baltensperger, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Kurzschlussversuchslokal, Baden (AG).

Gummi als Elektrizitätsleiter in der Technik Eigenschaften, allgemeine und besondere Anwendungen

Von S. de Meij, Delft

(Mitteilung Nr. 263a der Rubber-Stichting, Delft, Niederlande)

621.315.616.1 : 621.3

Es wird eine Übersicht der Eigenschaften und Anwendungen von elektrisch leitendem Gummi gegeben, wie er in der Technik zur Ableitung statischer Elektrizität sowie für Kabel und Heizung verwendet wird. Ferner werden die Möglichkeiten und die Schwierigkeiten der Anwendung auf elektronischem Gebiet und bei der Mess- und Regeltechnik behandelt.

Aperçu des propriétés et des applications du caoutchouc conduisant l'électricité, utilisé en technique pour l'élimination de charges statiques, ainsi que pour des câbles et pour le chauffage. L'auteur indique les possibilités et les difficultés de l'application au domaine de l'électronique et à celui de la métrologie et de la régulation.

A. Wie das elektrische Leiten des Gummis zustande kommt

Die Bezeichnung «leitender Gummi», der man in der letzten Zeit wiederholt in der technischen Literatur begegnet, steht scheinbar völlig im Widerspruch mit der Erfahrung, dass Gummi ein vortrefflicher Isolator ist. In Wirklichkeit ist diese Bezeichnung eigentlich unrichtig, denn der Gummi ist an und für sich nicht leitend.

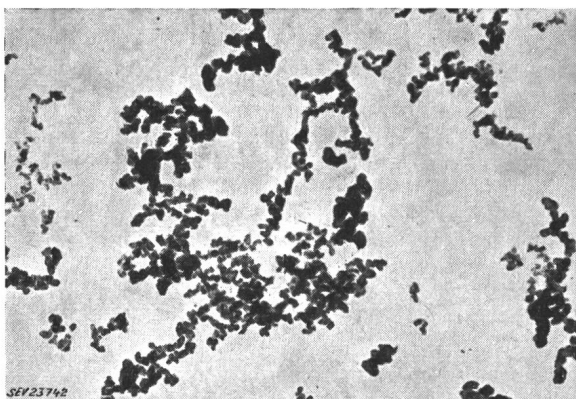


Fig. 1
 Gasrussteilchen in Kettenformation

Die schwarze Farbe technischer Gummimischungen ist auf den Russ (carbon black) im Gummi zurückzuführen. Zwi-

sehen den Kautschuk-Molekülen und dem Russ sowie zwischen den Russteilchen untereinander treten starke Bindungskräfte auf, und diese sind die Ursache der grösseren Festigkeit von Gummi-Russ-Mischungen. Die Zugfestigkeit, die Härte und der Verschleisswiderstand nehmen zu; die elastischen Eigenschaften wie Bruchdehnung und bleibende Deformation gehen jedoch zurück. In welchem Mass dies geschieht, hängt von der Art und Menge des Russes ab. Es hat sich gezeigt, dass Teilchen bestimmter Rußsorten unter Einfluss der Wärmebewegung der langen Kautschuk-Moleküle aneinander kleben können und auf diese Weise mehr oder weniger lange Kohlenstoffketten im Gummi bilden. Die durchlaufenden Ketten sind die Ursache der Leitfähigkeit der Gummimischung. Nicht jede Rußsorte zeigt diese Eigenschaft; sie tritt am stärksten bei Azetylenruss und sogenanntem Ofenruss (furnace black) auf. Man kann jedoch gegenwärtig auch andere Rußsorten dank einer speziellen Nachbearbeitung «leitend» machen. Fig. 1 zeigt die Kettenbildung der Russteilchen. Es ist somit möglich, Materialien herzustellen, bei denen sich die elektrische Leitfähigkeit mit den günstigen mechanischen und elastischen Eigenschaften technischen (schwarzen) Gummis vereinigt.

B. Eigenschaften

Es zeigt sich, dass leitender Gummi der Erfüllung des Ohmschen Gesetzes sehr nahekommt. Eine allgemeine Beziehung zwischen Spannung und Strom wird durch $U^n = Ri = \rho \frac{l}{A} i$ gegeben, wobei n und der spezifische Widerstand ρ von der Zusammensetzung der Gummimischung abhängen. Bei Naturgummi und kleinen Russteilchen ($0,03 \mu\text{m}$) ist

$n = 1,00$; bei anderem Gummi und grossen Teilchen ($0,3 \mu\text{m}$) kann n wohl 1,3 betragen. ρ beträgt für ungefüllten Naturgummi etwa $10^{15} \Omega\text{cm}$. Der Widerstand wird kleiner, je mehr die Russmenge zunimmt und die Teilchengrösse sich vermindert; er kann normale Werte von $100 \Omega\text{cm}$, in einigen speziellen Fällen noch kleinere Werte bis zu $1 \Omega\text{cm}$ erreichen. Man spricht von leitendem Gummi, wenn ρ kleiner als $10^7 \Omega\text{cm}$ ist.

Aus dem Mechanismus der Leitfähigkeit folgt auch, wie sich der Gummiwiderstand bei Verformung und Temperaturschwankungen verhält. Durch einmalige Deformation nimmt der Widerstand als Folge der Unterbrechung der Kette sprunghaft zu; bei anhaltender Deformation tritt «Widerstand-Rückkehr» durch neue Kettenbildung auf. Die Geschwindigkeit dieser Erholung hängt u. a. von der Temperatur ab. Die Verformung kann durch Kompression, Zug, Zurückfedern nach dem Zug usw. erfolgen. Eine wiederholte Verformung ruft qualitativ dieselbe Erscheinung hervor; inwieweit dies auch quantitativ dasselbe ist, hängt von den Umständen ab. Wiederholtes, schnelles Verformen (z. B. Schwingen) führt zu einer gewissen Konditionierung, wobei ρ eindeutig von der Deformation abhängt, so dass Anwendungen hierauf basieren können. Diese Verformungsempfindlichkeit bringt auch Schwierigkeiten bei der Fertigung (Walzen, Pressen) mit sich, wodurch der schliessliche Widerstandswert nicht von vorneherein feststeht. In letzter Zeit gelang es, leitende Mischungen auf der Basis von synthetischem Gummi zusammenzustellen, bei denen sich der Widerstand bei Verformung nicht verändert, ja sogar abnimmt. Dies konnte bisher noch nicht erklärt werden.

Ausführliche Messungen bei der Rubber-Stichtung haben gezeigt, dass infolge von Temperaturschwankungen auftretende Widerstandsänderungen viel komplizierter sind. Erwärmung vergrössert die Molekularbewegung, die Russketten werden unterbrochen, und der Widerstand nimmt zu.

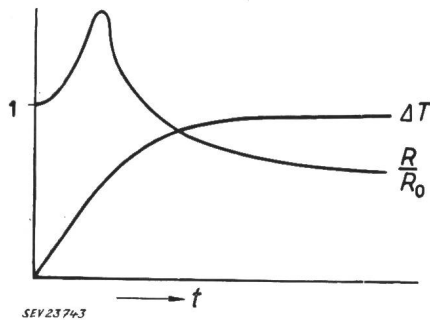


Fig. 2
Widerstandsänderung infolge Temperatursteigerung

Gleichzeitig tritt auch Wiederherstellung von Ketten auf, wodurch der Widerstand abnimmt und zwar um so schneller, je höher die Temperatur ist und je langsamer sie variiert. Bei konstanten, höheren Temperaturen ist nach einiger Zeit der Widerstand im allgemeinen kleiner als der ursprüngliche infolge des negativen Temperatur-Koeffizienten des Russes. Je nach den Umständen, wobei der eine oder der andere Effekt überwiegt, wird man also einen positiven oder einen negativen Temperatur-Koeffizienten erhalten können, und der Verlauf wird im Prinzip die Form von Fig. 2 haben. Es ist denkbar, dass man in Zukunft diese Eigenschaft benützen wird, um z. B. Widerstände mit einem sehr kleinen Temperatur-Koeffizienten zu bauen.

Die Kohlenstoffketten werden auch durch Quellung des Gummis unterbrochen, wodurch der Widerstand stark zunimmt. Auf dieser Erscheinung beruht ein Indikator für Leckage von Benzin.

C. Anwendungen

Die Anwendungen müssen naturgemäss auf die charakteristischen elektrischen und mechanischen Eigenschaften des leitenden Gummis Rücksicht nehmen. Leitender Gummi ist schon seit langem bekannt. Das erste Patent über den elektrolytischen Niederschlag von Metallen auf Ebonit stammt aus dem Jahre 1909. Jahrelang bestand jedoch hierfür wenig Interesse, und erst gegen 1930 kam vor allem die Kabelindustrie auf diese Gummisorte wieder zurück. Es folgten schnell

hintereinander verschiedene Anwendungen, die sich jedoch alle auf Situationen bezogen, in denen die Widerstandsänderung infolge Deformation wenig oder überhaupt keine Rolle spielt. Im Gegensatz hierzu steht das grosse Interesse der letzten Jahre, wobei man grösseren Wert auf die Widerstandsschwankungen legt, die durch Deformation entstehen, bzw. auf eine Grösse, die in einfacher Weise von der Deformation abhängt. Diese Anwendungsweise ist auch der schnellen Entwicklung der elektronischen Mess- und Regeltechnik zu verdanken. Es seien beide Anwendungsarten einmal näher betrachtet.

1. Allgemein technische Anwendungen

Anti-statische Gummisorten (ρ etwa $10^4 \dots 10^7 \Omega\text{cm}$) werden zur Verhütung lästiger elektrostatischer Aufladungen angewandt. Diese können infolge Reibung bei Maschinen, z. B. in der Textil-, Gummi- und Papierindustrie, bei Transportbändern, Keilriemen usw. auftreten und sind vor allem in einer staubigen, feuergefährlichen oder explosiblen Umgebung (Munitionsfabriken, Bergwerken, Sandstrahlanlagen, Operationsräumen) gefährlich. Sie ersetzen dort die bekanntesten Erdungsketten und können für Fussboden- und Tischbekleidung, Schwingungsdämpfer, Transportbänder, als Bekleidung von Walzen, als Schuhsohlen und dgl. mehr gebraucht werden. Die Aufladung, die durch die Reibung von Kraftwagen und Flugzeugen mit der Strassendecke und der Luft entsteht und die zu Schlägen und Rundfunkstörungen führen kann, lässt sich durch leitende Gummireifen ableiten. Leitender Gummi verhütet auch auf Propellern statische Aufladung.

Eine umfangreiche Anwendung hat leitender Gummi in der Kabelindustrie [1] ¹⁾ gefunden. Verwendung von anti-statischem Gummi verhütet zu grosse Spannungsgradienten in der Gummiisolation, wodurch Durchschlag in kleinen Luftblasen und an der Aussenseite auftreten könnte. Das dadurch entstehende Ozon greift den Gummi an. Man kann auch den Bleimantel von Kabeln gegen elektrolytische Beschädigung im Boden durch Bekleidung mit leitendem Gummi beschützen oder den Bleimantel vollständig durch leitenden Gummi ersetzen. Im zweiten Fall wird das Kabel biegsamer und weniger schwer. Schliesslich kann man auch gut leitenden Gummi (ρ kleiner als $10^3 \Omega\text{cm}$) an Stelle des Metallleiters für sehr biegsame und elastische Kabel anwenden. Dies geschieht bei Hochspannungskabeln für Röntgenröhren. Es können so auch Kabel mit verschiedenen Gummisorten hergestellt werden (Fig. 3).

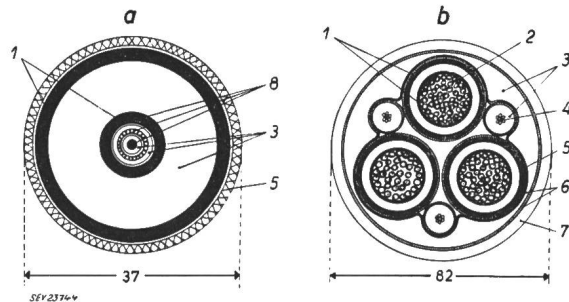


Fig. 3
Kabel, aufgebaut auf verschiedenen Lagen teils elektrisch leitenden, teils isolierenden Gummis (Heering)
a Röntgenröhrenkabel für 100 kV; b 10-kV-Kabel für Baggermaschinen; 1 schwach leitende Gummischichten; 2 Metallleiter 120 mm²; 3 Isoliertgummi; 4 Metallleiter 16 mm²; 5 Kupferdrahtumklöppelung; 6 Textilschicht; 7 Gummimantelung; 8 Kupferleiter

Gut leitender Gummi findet auch für Heizung von Räumen in Form von Platten, Streifen und Kabeln Verwendung. Die sogenannten «Uskon»-Panels der U.S. Rubber Co. haben eine Oberfläche von etwa 1,5 m² und eine Anschlussleistung von etwa 250 W. Die Vorteile bestehen darin, dass sie nur wenig Platz beanspruchen (z. B. an Decken) und dank ihrer grossen Strahlungsfläche von verhältnismässig niedriger Temperatur die Wärme gleichmässig im Raum verteilen. Diese Gummisorte findet Verwendung in Badezimmern, Wohnhäusern, Garagen, Brutanlagen, Treibhäusern, in Werkstätten zur Erwärmung von Arbeitstischen und Maschi-

¹⁾ siehe Literaturverzeichnis am Schluss.

nen, in Laboratorien und photographischen Ateliers als Trockenanlage, in der Flugzeugindustrie gegen Eisbildung usw. Die niedrige Oberflächentemperatur, der geringe Verschleiss und die Stossfestigkeit bieten im Vergleich zu normalen Heizkörpern wesentliche Vorteile. Eine Gefahr bei allen diesen Anwendungen besteht allerdings darin, dass man zu stark daran gewöhnt ist, Gummi als Isolator zu betrachten; es ist daher unerlässlich, diese speziellen Gummisorten zur Vermeidung von Unfällen gut zu kennzeichnen.

2. Anwendungen in elektronischen Schaltungen

Aus der Literatur ist über dieses Gebiet noch nicht viel bekannt. Versuchsweise konnte man für bestimmte Laboratoriumszwecke Widerstände herstellen; diese eignen sich für starke Stromstösse. Leitender Gummi wird in sogenannten «geräuschlosen» Kabeln verwendet, die keine Störungen durch Stossen oder Schwingungen verursachen. Auch Metall-

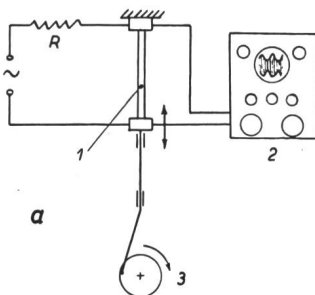
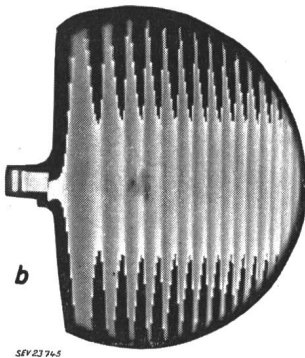


Fig. 4
Widerstandsänderung infolge Deformation

a Schema einer Messvorrichtung: 1 Gummistab; 2 Oszillograph; 3 Motor; b Oszillogramm:

Die Länge der vertikalen Linien ist ein Mass für den Widerstand des Gummis.

Horizontal ist die Zeit dargestellt: links 0 s, rechts 3 s



Abschirmungen lassen sich hiedurch ersetzen. Von grösserer Bedeutung ist ein neuer Dehnungsmeßstreifentyp aus Gummi, der von Dunlop entwickelt wurde und sich um 300 % verlängern lässt. Fig. 4 zeigt die Widerstandsänderungen eines Gummistabes infolge periodischer Längenveränderung, aufgenommen mit einer Prüfvorrichtung im Laboratorium der Rubber-Stichting. Es bleiben jedoch noch Schwierigkeiten hinsichtlich Nicht-Linearität, Hysteresis, Reproduzierbarkeit, Stabilität und vor allem hinsichtlich Kontaktwiderstandes

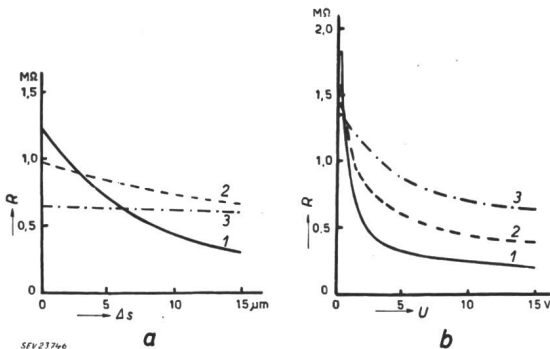


Fig. 5

Der Kontaktwiderstand R als Funktion des Eindrucks Δs und der angelegten Spannung U für drei verschiedene Russ-Sorten (Jarret und Jarret)

- a Elektrischer Widerstand R in Funktion der Dickenänderung des Gummis Δs
- b Elektrischer Widerstand R in Funktion der an den Gummi angelegten Spannung U

zwischen Gummi und Metall zu überwinden. Dieser kann sehr gross sein im Vergleich zum Gummiwiderstand selbst; häufig ist er nicht konstant und nicht reproduzierbar.

Wesentliche Verbesserung kommt durch Aufvulkanisieren oder Aufpressen von Metallfolien bzw. Bedecken mit einer Kohlenstoffsuspension (Aquadag) zustande. Es ist auch gelungen, Metalle auf leitenden Gummi elektrolytisch niederzuschlagen; der Übergangswiderstand ist dann sehr klein.

Eine Serie von Anwendungen, die gerade auf diesem Kontaktwiderstand, der vom Druck und der angelegten Spannung abhängig ist, beruhen, wird von Jarret und Jarret [2] (Fig. 5) beschrieben. Hierbei verwendet man kleine Gummischeiben, deren Kontaktwiderstand klein sein muss. Dieser ist gegen Druckschwankungen sehr empfindlich, und es besteht die Möglichkeit, einen Gleichstrom zu modulieren. Diese Erscheinung wird in Mikrofonen und Tonabnehmern (Fig. 6) angewandt. Die elektrische und die mechanische

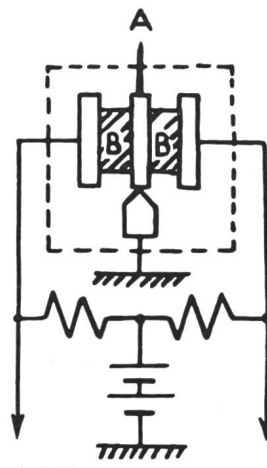


Fig. 6

Konstruktion eines Plattenspielers

Zwei Scheibchen elektrisch leitenden Gummis (B) sind in einer Wheatstoneschen Brücke geschaltet. A ist die Nadel des Plattenspielers

Impedanz lassen sich mit der Gummimischung regeln. Bei kleinen elektrischen Impedanzen kann die Wärmeentwicklung, welche die Stabilität beeinflusst, Schwierigkeiten hervorrufen. Die Spannung der Tonabnehmer ist gross genug, damit sie entweder asymmetrisch oder symmetrisch an die Endstufe von Verstärkern angeschlossen werden können, wobei im letzten Fall die Verzerrung durch gerade Harmonischen mittels der Gegentaktschaltung unterdrückt wird. Eventuell kann man mit den verfügbaren 100 mW direkt einen Lautsprecher speisen. Der Rauschpegel lässt sich sehr niedrig halten. Die Scheiben werden in Regelinstrumenten angewendet, z.B. in einem Fliehkraftregler für die Geschwindigkeit von Maschinen, für Spannungsregelung von Generatoren und für die Anzeige jeder Grösse, die direkt oder indirekt den Widerstand der Scheiben beeinflusst.

Für statische Messungen (Messuhren usw.) und dynamische Messungen (Schwingungsaufnehmer) lassen sich kleine Gummischeiben als Messgerät verwenden. Auch hier liegt noch ein weites und fruchtbares Anwendungsgebiet offen. Dem Vorteil der hohen Empfindlichkeit stehen jedoch die bereits erwähnten Nachteile gegenüber, wodurch die Präzision und Reproduzierbarkeit für Messinstrumente nicht sehr gross ist.

Die gleichrichtende Wirkung der beschriebenen Scheiben wurde bereits erwähnt, doch kennt man hierfür noch keine Erklärung. Auf diese Weise könnte man nicht nur Dioden, sondern auch Trioden anfertigen, nämlich durch Einbau eines Gitters, das vom Gummi isoliert ist.

D. Schlussbemerkung

Bei einer Übersicht der Anwendungen von leitendem Gummi zeigt es sich, dass für die Anwendung in der Technik bereits viele Möglichkeiten bestehen. Dieser Gummi eröffnet dank seinen guten elastischen Eigenschaften günstige Aussichten für die Mess- und Regeltechnik, und man darf hoffen, dass durch weitere Forschung die weniger günstigen Eigenschaften im Laufe der Zeit verbessert werden können.

Literatur

[1] Heering: Proc. Rubber Techn. Conf. London 1938, S. 1086.
[2] J. Jarret und J. Jarret: Revue Générale du Caoutchouc Bd. 27(1950), S. 341.